

CA1 HW1179 E42

CA1 HW 1179E42

Canada. DHHW. EHD.

79-EHD-42

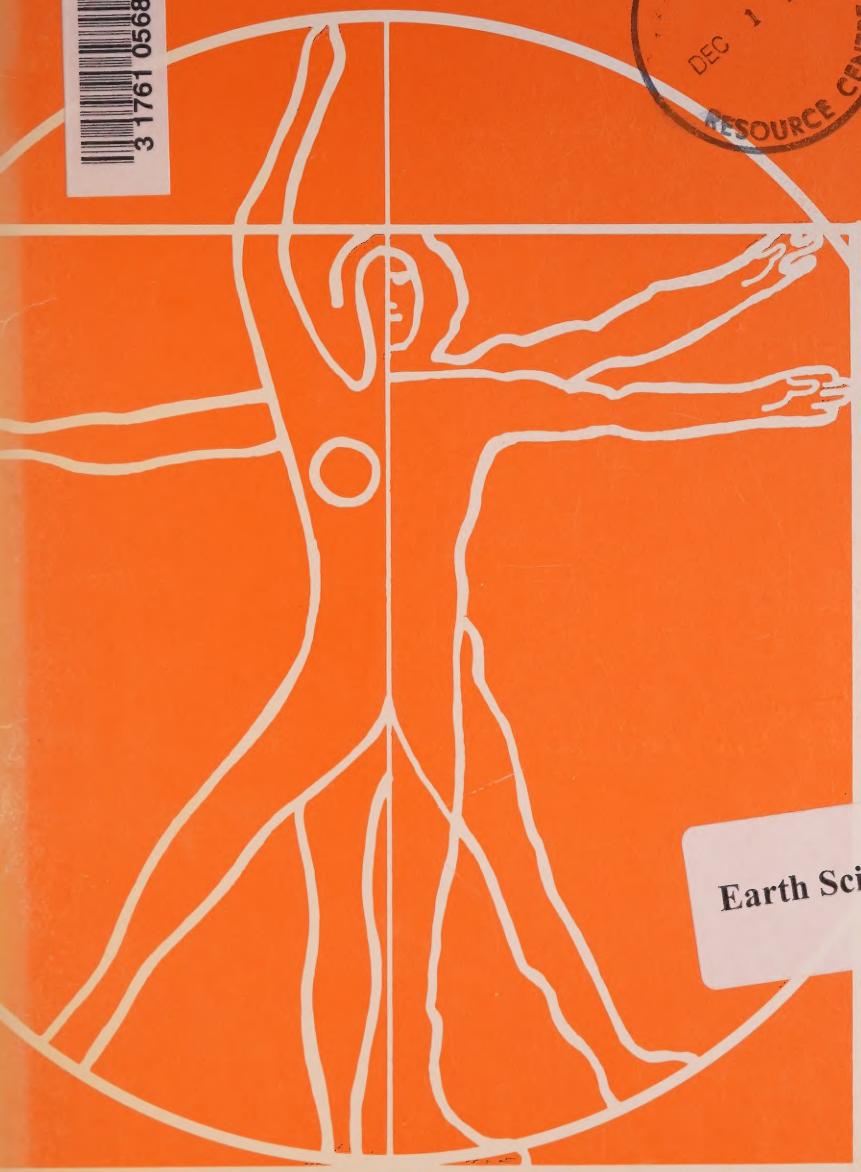
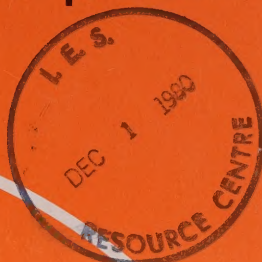
BIOASSAY PROGRAMS FOR RADIATION PROTECTION. 1979.

é et Bien-être social
ada

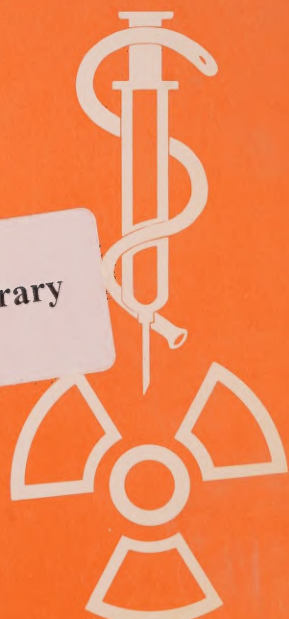
CA1 HW1179 E42

79-EHD-42

bioassay programs for radiation protection



Earth Sciences Library



BIOASSAY PROGRAMS FOR RADIATION
PROTECTION

Environmental Health Directorate
Health Protection Branch

Published by Authority of the Minister
of National Health and Welfare

COPIES OF THIS PUBLICATION
MAY BE OBTAINED FROM:

Information Services,
Department of National Health
and Welfare,
Fifth Floor,
Brooke Claxton Building
Ottawa K1A 0L2

ABSTRACT

This report discusses the rationale for the establishment of bioassay programs as a means of protection for radiation workers in the nuclear industry. The bioassay program of the Radiation Protection Bureau is described for the years 1966-1978 and plans for future changes are outlined.

This report was prepared by M.P. Measures and R. Yarnell under the direction of P.J. Waight.

TABLE OF CONTENTS

	<u>Page</u>
Introduction	1
Radiation Exposure	1
SI Radiation Measurement Units	2
Metabolism of Radionuclides	2
Bioassay Programs	3
Mathematical Basis for Bioassay Programs	3
Practical Aspects of Bioassay Monitoring	4
Radiation Protection Bureau Bioassay Program: 1966-1978	4
Interlaboratory Comparison for Bioassay	5
Standardization of Bioassay Requirements	6
Future Role of the Radiation Protection Bureau in Bioassay	6
References	7
Table 1. Weighting Factors (W_T) as Recommended by ICRP	8
Table 2. Estimated No. of Canadians at Risk from Internal Contamination, 1979	9
Table 3 Bioassay Samples Routinely Analyzed: 1966-1978	10
Table 4. RPB Bioassay Program 1966-1978	11
Table 5. Results of RPB Bioassay Program 1966-1978	12
Figure 1. Bioassay Program	13
Figure 2. External Exposure	14
Figure 3. Internal Exposure	15
Figure 4. Principal Metabolic Pathways of Radionuclides in the Body	16
Figure 5. Minimum Requirements for Routine Bioassay Program (3)	17
Figure 6. Patterns of Uptake	18
Appendix A. SI Radiation Measurement Units: Conversion Factors	19



Digitized by the Internet Archive
in 2025 with funding from
University of Toronto

<https://archive.org/details/31761056887797>

INTRODUCTION

The term "bioassay" has many connotations and is used to describe a wide variety of procedures using biological materials. In the field of radiation protection, the term "bioassay" is used to describe the methodology involved in the estimation of internal contamination by the measurement of radioactive compounds in excreta and other biological samples, or by direct in vivo measurements. Results of these measurements are then compared with pre-established guidelines to determine the need for investigation and action (Fig. 1). It should be noted that investigation and action levels are not targets to aim for but the goal should be "as low as reasonably achievable" and any increase in radiation levels should be cause for concern.

Radiation Exposure

Individuals may be exposed to radionuclides from internal or external sources (Fig. 2-3). Penetration increases through the α , β , γ series while ionization and local damage decrease. Alpha particles from an external source are not normally a health hazard, unless in direct contact with the skin, since their range, even in air, is limited, beta particles have a longer range but do not penetrate far into the body. The external dose from β radiation is therefore usually classified as a skin dose although the lens of the eye is also susceptible to damage from β particles. Unlike α and β particles, γ -rays are not charged. Their chances of interaction with matter, resulting in a corresponding loss of energy, are low and hence their ranges are extremely long. The radiation dose from a gamma source is considered to be a whole body dose.

Internal contaminants present a different type of problem. Alpha particles cause intense local damage, while β particles and γ -rays tend to be somewhat less hazardous, depending on their energies and the biological half-lives of the isotopes. Some isotopes, e.g., ^3H are distributed throughout the body while others are concentrated in one or more organs.

The International Commission on Radiological Protection now recommends that dose calculations consider the total risk attributable to any exposure and not just the risk to the so-called critical organ or tissue (1). This is calculated by applying weighting factors (Table 1) representing the proportion of the stochastic*

*The risk where the probability of an effect occurring, rather than its severity, is regarded as a function of dose.

risk resulting from specific tissues to the total risk when the whole body is irradiated uniformly. The dose equivalent based on these average risk levels is termed the "effective dose equivalent". In practice, it is only necessary to refer to the secondary limits, the annual limits of intake (ALI) for specific radionuclides, when estimating dose equivalents from the intake of radioactive material.

SI Radiation Measurement Units

The international system (SI) of radiation measurements has been adopted in Canada. Conversion factors, are listed below, and presented in tabular form in appendix A.

1 Bq	~	27 pCi
1 Gy	=	100 rad
1 C/kg	~	3876 R
1 Sv	=	100 rem

Metabolism of Radionuclides

The metabolism of a radionuclide must be known in order to utilize bioassay results for the estimation of the effective dose equivalent. Since metabolic factors are seldom known for any individual, calculations are based on the metabolism of Reference Man (2), unless levels are sufficiently high to warrant calculation of the metabolic data of the individual (3). In this instance, the individual must be removed from any area where further contamination may occur.

The principal metabolic pathways are shown in Fig. 4 (4). Radionuclides enter the body by inhalation, ingestion, skin absorption or entry through a wound and are eliminated in respired air, urine, feces and/or sweat. They are labelled as transferable or non-transferable depending on the rate at which they are transported across the cellular membranes of the gut and lung epithelia and the outer layer of the epidermis. It should be noted that there is a wide range of transferability depending upon the physical and chemical properties of the compounds involved and that these compounds are not clearly distinguishable as transferable or non-transferable. Contaminants in the lung have been delineated as:

- Class D compounds, rapid clearance (days)
- Class W compounds, intermediate clearance (weeks)
- Class Y compounds, slow clearance (years)

Bioassay Programs

Routine bioassay programs are undertaken to detect the intake of radioactive compounds and to estimate the resulting committed effective dose equivalent to radiation workers. In addition, special analyses may be required as follow-up to accidental or abnormally high exposures. The necessity for a bioassay program is assessed on the basis of the total activity and the physical and chemical properties of the radionuclide(s) being handled, methods of containment, environmental monitoring results, etc. The type of program depends on the metabolic and radiometric properties of the radionuclide(s) under consideration.

The bioassay measurement appropriate for any radionuclide involves the chemical or radiochemical analysis of a biological specimen from the exposed person and/or direct in vivo counting. Analytical results are compared with the derived investigation level (DIL) for that radionuclide where the DIL is defined as a quantity of activity that indicates the dose equivalent or intake is sufficient to warrant an investigation.

When a DIL is exceeded an investigation must be initiated to verify that a significant intake did occur, to check for intake by other individuals, to ascertain the cause and to implement corrective action (Fig. 5) (3). When an action level is exceeded, i.e., when the dose equivalent $\geq 50\text{mSv}$, the individual must be removed from further exposure pending an investigation.

Mathematical Basis for Bioassay Programs

The four major types of intake and the corresponding patterns in body or organ content are illustrated in Fig. 6. Body or organ content change with time and can be expressed by the following equation (5):

$$q(t) = \int_0^t I(\zeta) \cdot r_s(t-\zeta) d\zeta$$

where $q(t)$ = body or organ content

$I(\zeta)$ = uptake or deposition as a function of time

$r_s(t-\zeta)$ = retention as a function of time

ζ = a variable time which integrated from 0 to t .

The value for retention varies from individual to individual and is based on Reference Man for the calculation of the annual limit on intake. The Derived Air Concentration (DAC), the concentration of a radionuclide in air which if breathed by

Reference Man for a working year of 5000 hours would give an ALI by inhalation, can also be calculated for individual isotopes. A list of ALI, DAC and DIL values is being prepared by the International Commission on Radiological Protection and should be ready for publication in the near future (6).

Practical Aspects of Bioassay Monitoring

Bioassay programs may be required in situations where there is a possibility that the annual intake of radioactive material will exceed 0.1 ALI (3) or that any significant intake may occur. If it can be shown, from air monitoring results or external exposure results, etc., that such an intake is unlikely, then a routine program may not be required. If bioassay is not a condition imposed by the Atomic Energy Control Board, then the need for or desirability of such a program must be assessed by an experienced health physicist.

Routine bioassay measurements must be made with sufficient frequency to ensure that any significant intake of radioactive material will be detected. Frequency therefore varies with the effective half-life of the radionuclide under investigation and the sensitivity of the analytical procedures. For example, the time between measurements will necessarily be reduced for radionuclides that are rapidly excreted from the body such as ^3H when compared with radionuclides with a long residence time such as ^{226}Ra . However, analytical methods for this isotope must be very sensitive since excretion: intake ratios are low. The use of in vivo techniques is restricted to the measurement of γ -emitting radionuclides and in many instances, this method will not be sufficiently sensitive to measure significant body burdens.

Radiation Protection Bureau Bioassay Program: 1966-1978

The Radiation Protection Bureau (RPB) initiated its bioassay program in 1966 to assess the health hazards to Canadian Atomic Energy Workers from the intake of radioactive compounds. This program was implemented to complement the existing film monitoring service which provided routine monitoring for persons occupationally exposed to external sources of radioactive material. Therefore the immediate need was to measure the radiation exposure from ingested, inhaled or absorbed radionuclides with special emphasis on alpha and low energy beta emitters (7).

Recent data (8) indicate that approximately 21 000 Canadians are occupationally at risk from the intake of radionuclides (Table 2). These workers handle unsealed sources in the course of their duties or are employed in an industry where

naturally occurring radionuclides are either processed or utilized or are present as contaminants. Approximately 30% of the high-risk group subscribe to a federal, provincial or in-house bioassay program. The Atomic Energy Control Board requires mandatory participation in approved programs for specified nuclear power plant employees, uranium industry workers and dial painters. Bioassay for other exposed Canadians is generally on a voluntary basis and at the discretion of the employer although often under the supervision of the Radiation Protection Bureau.

Participation in the Radiation Protection program between 1966 and 1978 was mainly limited to workers exposed to low-energy β emitters such as ^3H and ^{14}C and to naturally occurring radionuclides such as radium, thorium and uranium. Occupations of subscribers included researchers, dial painters, uranium millers, fuel processors and employees of various small industries handling thorium compounds. The effective half-life of these isotopes and the Radiation Protection Bureau derived investigation levels are listed in Table 3. Non-routine analyses included the measurement of gross α , gross β , gross γ , ^{32}P , ^{203}Hg and/or Pu . For example, bioassay analyses were performed for some of the personnel involved in the clean-up following the crash of the COSMOS satellite.

A total of 15,294 specimens from 1419 individuals in 44 agencies were submitted and analyzed over the 13-year period (Table 4). As shown in Table 5, 15% contained activities above the Radiation Protection Bureau derived investigation level and thus indicated that a significant intake of radioactivity had occurred. Action based on the bioassay results ranged from notification of the subscribing agency of the need for internal investigation to the temporary shutdown of industrial plants. In addition, workers have been removed from certain tasks to prevent further exposure while others have been forced to improve their work habits. Visits by Radiation Protection Bureau staff serving as Atomic Energy Control Board inspectors have resulted in many clean-up operations and the introduction of many precautionary measures.

Interlaboratory Comparison for Bioassay

Quality assurance for bioassay has generally been limited to internal programs. Occasional cross-checks are organized by the International Atomic Energy Agency, but routine intercomparison programs do not exist on a national or international basis.

A cross-check program for tritium in urine has been on-going between the Radiation Protection Bureau and several outside laboratories since 1970. Specimens

are subdivided and analyzed by both the outside laboratory and the Radiation Protection Bureau laboratories and the results compared. Plans for a more formal intercomparison are under discussion.

A trial intercomparison program was initiated in 1977 for uranium in urine utilizing both actual specimens and spikes samples. Problems associated with the precision and accuracy of the fluorometric method of analysis had suggested the need for such a program. The results confirmed this need and the 1978 program was expanded to include ten laboratories. This program is now offered on a voluntary basis to all laboratories routinely analyzing urine for uranium.

Standardization of Bioassay Requirements

Since the majority of Canadian bioassay programs have been developed independently of one another, there is wide variation in their organization with respect to methodology, frequency, interpretation of results and subsequent action. To ensure adequate protection of all Canadian workers, the Radiation Protection Bureau has organized a group of experts, through the federal-provincial committee structure to write a series of guidelines detailing bioassay criteria. The first of these (3) is currently available for comment and preliminary drafts are being prepared for tritium and uranium bioassay.

Future Role of the Radiation Protection Bureau in Bioassay

The Radiation Protection Bureau is in the process of phasing out its routine analysis program. It will adopt more of an advisory role by providing the Atomic Energy Control Board, industry, universities etc., with advice on the organization of bioassay programs, current methodology and the interpretation of results. At the same time, the programs to ensure quality assurance and the standardization of bioassay requirements will be expanded. The Bureau will continue to analyze specimens in the event of an emergency or when it is necessary to assess an unusual or previously undetected situation. Research related to the above programs will continue and an audit program will be implemented for high-risk industries.

REFERENCES

1. ICRP Publication 26, 1977. Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 3. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (as amended at the 1978 Stockholm Meeting of ICRP). Pergamon Press, Oxford.
2. ICRP Publication 23, 1975. Report of the Task Group on Reference Man, 480 pp. Pergamon Press, Oxford.
3. General Criteria for Bioassay Programs, 1979. RPB-GL-1, Available for Comment.
4. ICRP Publication 10, 1968. Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure.
5. ICRP Publication 10A, 1971. The Assessment of Internal Contamination Resulting from Recurrent or Prolonged Uptakes.
6. ICRP 10X, to be published. Report of Committee 4 on Monitoring for Internal Contamination.
7. Bird, P.M. 1969. Body Burden Assay Services of the Radiation Protection Division. Internal Report, IR-11.
8. Ashmore, P. 1979. Personal Communication.

Table 1

Weighting Factors (W_T) as Recommended by ICRP

Tissues	W_T
Gonads	0.25
Breast	0.15
Red Bone Marrow	0.12
Lung	0.12
Thyroid	0.03
Bone Surfaces	0.03
Remainder	0.30

Table 2

Estimated Number of Canadians at Risk from Internal Contamination, 1979.

Occupation	Number
Dial Painters	10
Hospital Staff	7 000
Instructors and Students	600
Janitorial Staff	50
Laboratory Technicians and Scientists	3 500
Reactor Workers	6 000
Safety Officers	50
Uranium Workers	3 500
TOTAL	20 710

Table 3

Bioassay Samples Routinely Analyzed: 1966-1978

Radionuclide	Specimen	Effective half-life	Derived Investigation Level
^3H	urine	10 d	37 kBq/1
^{14}C (as $^{14}\text{CO}_2$)	urine	0.4 d	185 Bq/1
	breath		185 Bq/mmol CO_2
^{226}Ra	urine	1.6×10^4 d	110 mBq/1
Th_{nat}	urine	7.3×10^4 d	2 $\mu\text{g}/1$
U_{nat} (transportable)	urine	15 d	20 $\mu\text{g}/1$
U_{nat} (non-transportable)	urine	(1.2 to >6.0) $\times 10^2$ d	20 $\mu\text{g}/1$

Table 4

RPB Bioassay Program 1966-1978

Year	No. Companies and Agencies	^3H	^{14}C	^{14}C	^{226}Ra	Number of Analyses				Total
		Breath	Urine	Th		U	Other			
1966	2	6	--	--	--	--	10	--		16
1967	16	150	37	36	36	59	109	--		427
1968	24	141	59	62	24	89	820	8	1	203
1969	18	130	76	74	19	61	915	3	1	278
1970	15	133	64	66	23	47	698	9	1	040
1971	17	123	57	60	15	65	802	1	1	123
1972	15	140	70	77	31	78	745	5	1	146
1973	14	259	151	192	17	123	1 178	--	1	920
1974	11	220	138	172	11	62	731	2	1	336
1975	11	182	127	139	13	60	695	--	1	216
1976	13	214	107	128	13	45	357	2		866
1977	10	194	68	81	35	33	1 247	--	1	658
1978	11	277	94	108	17	57	1 455	57	2	065
Total	44	2 169	1 048	1 195	254	779	9 762	87	15	294

Table 5

Results of RPB Bioassay Program 1966-1978

Isotope	Number of Analyses	Number of Non-Detectable Results	Number of Results Above Derived Investigation Level
^3H	2 169	1 420	108
^{14}C (breath)	1 048	1 019	6
^{14}C (urine)	1 195	1 164	14
^{226}Ra	254	205	3
Th_{nat}	779	610	169
U_{nat}	9 762	2 547	1 856
Total	15 207	6 695	2 156

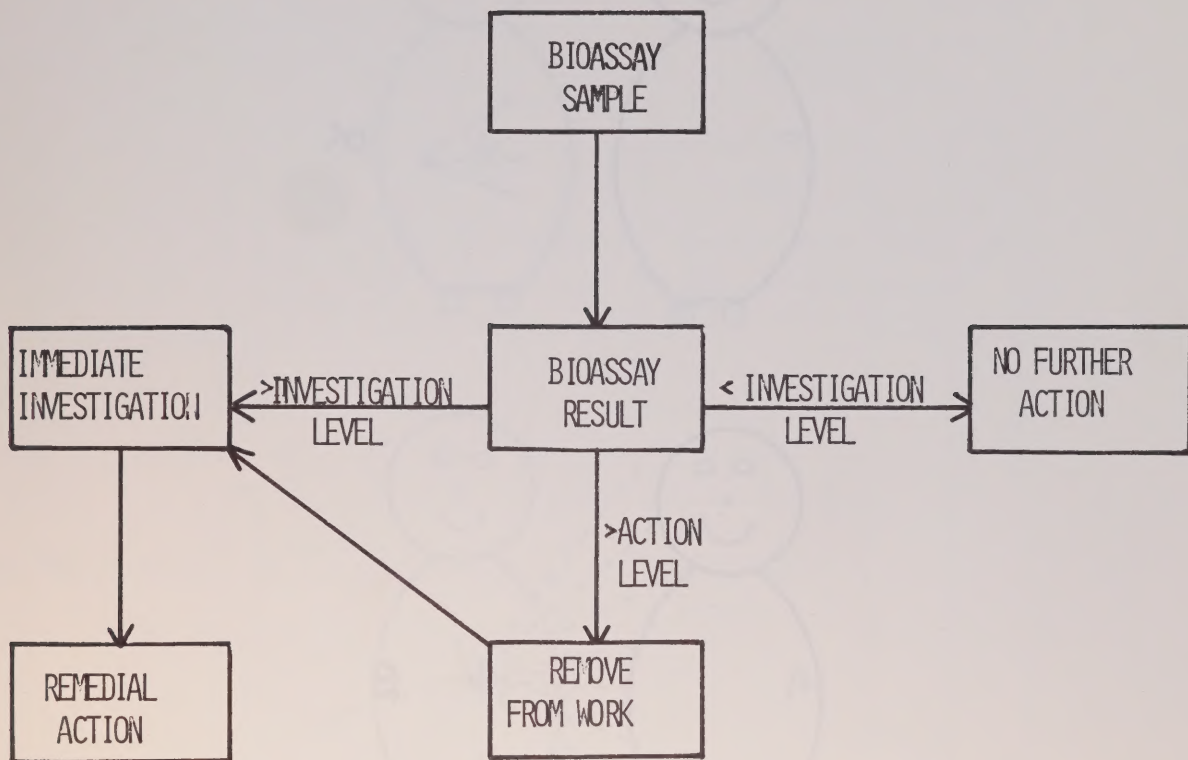


FIG. 1. Bioassay Program

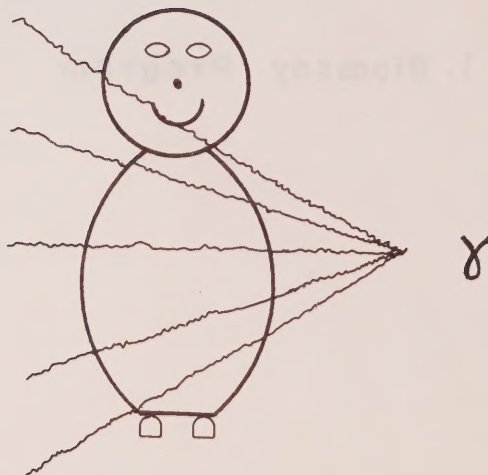
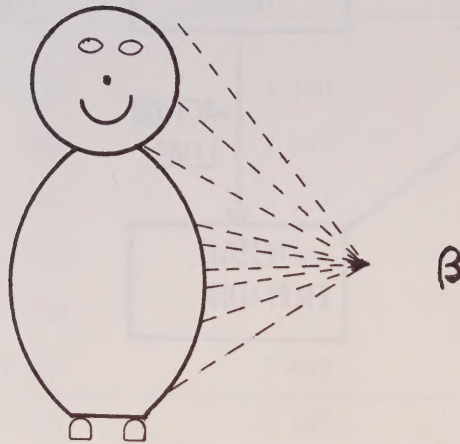
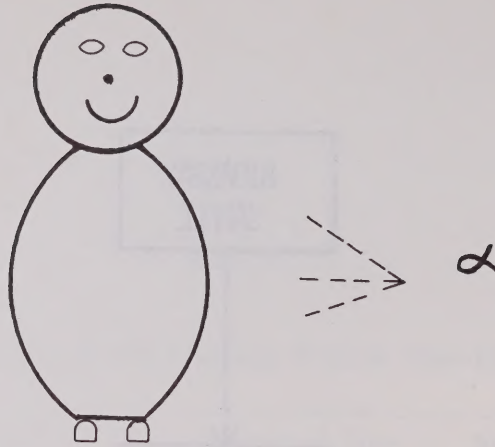


FIG. 2. EXTERNAL EXPOSURE

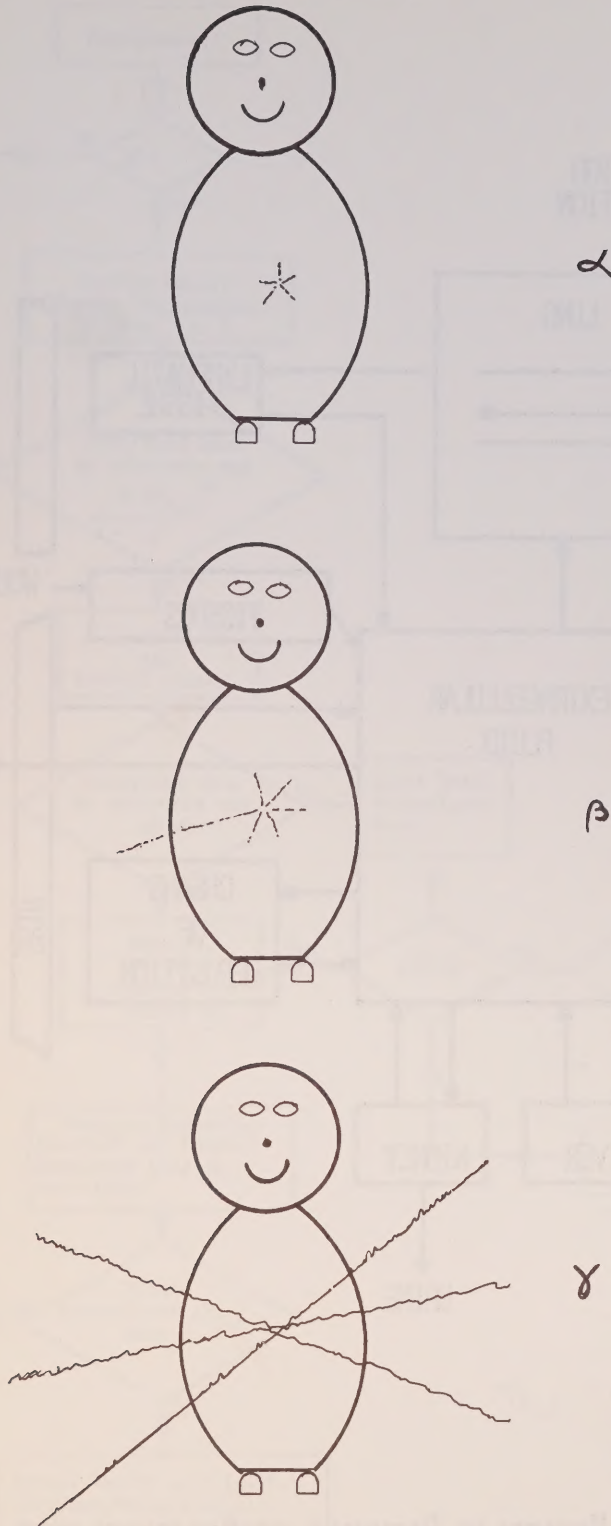


FIG. 3. INTERNAL EXPOSURE

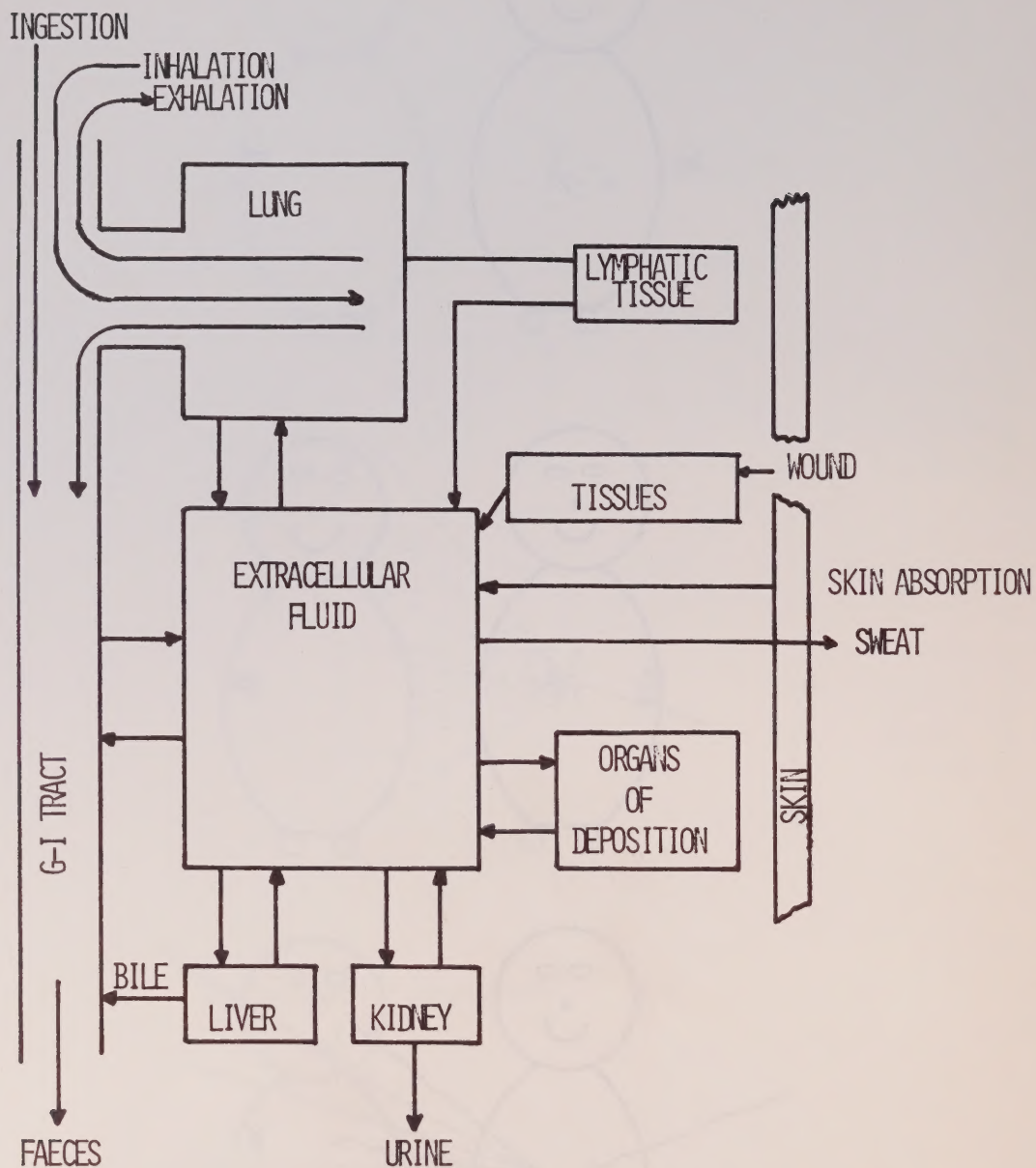


FIG. 4. PRINCIPAL METABOLIC PATHWAYS OF RADIONUCLIDES IN THE BODY

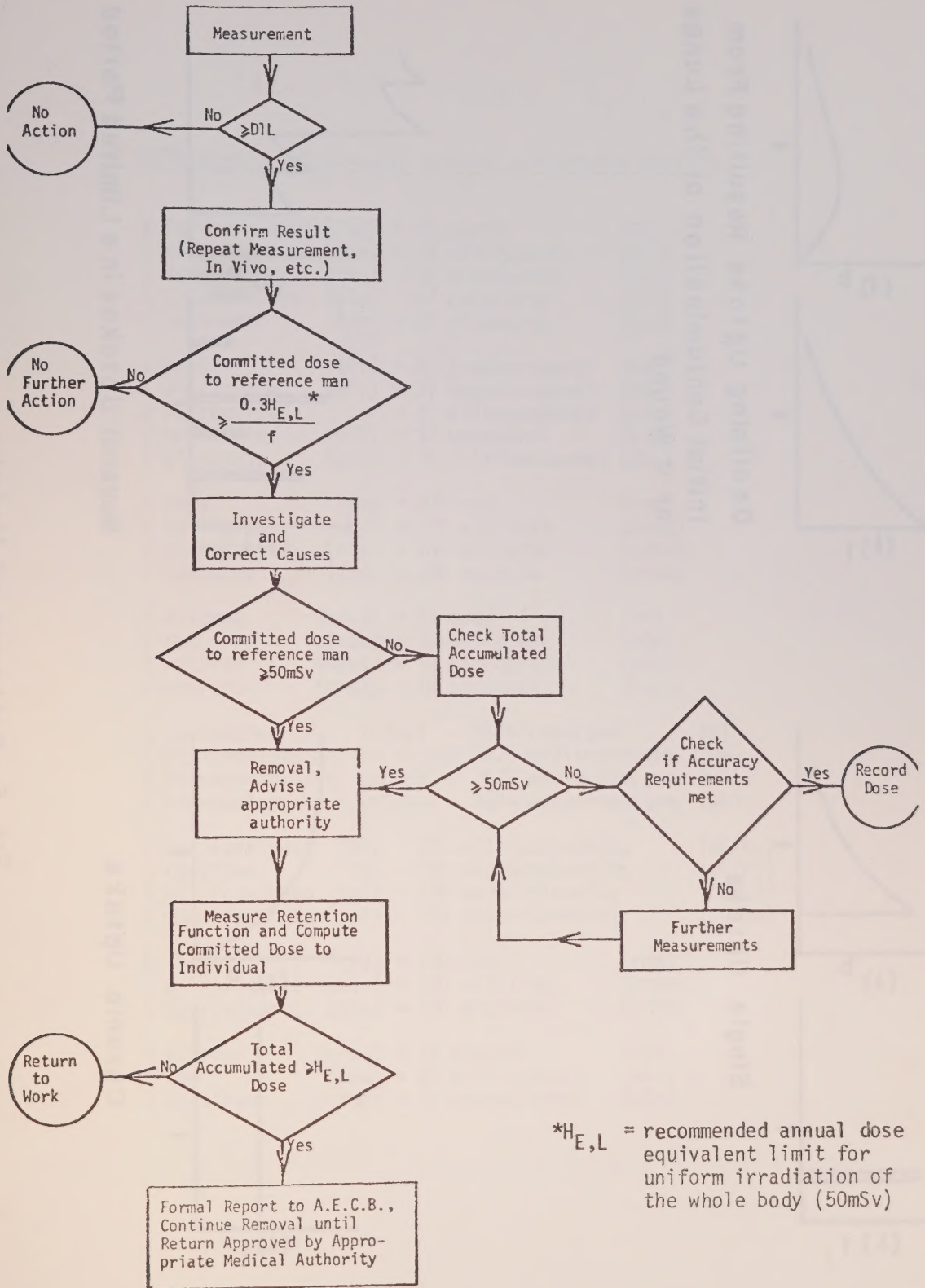


Figure 5. Minimum Requirements for Routine Bioassay Program(3)

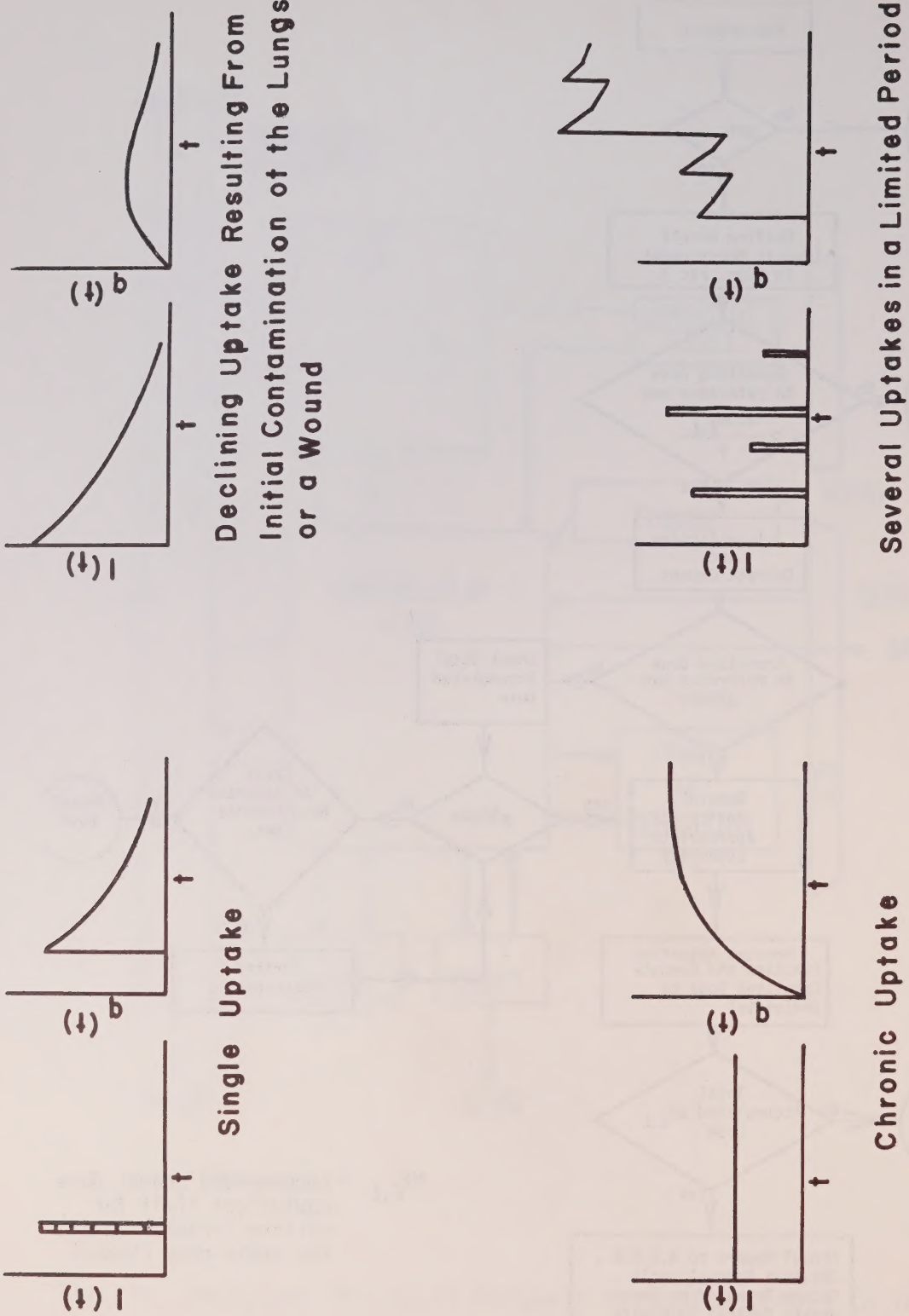


FIG. 6. Patterns of Uptake

SI Radiation Measurement Units: Conversion Factors

1 terabecquerel	(TBq) ~ 27 curie	(Ci)
1 gigabecquerel	(GBq) ~ 27 millicurie	(mCi)
1 megabecquerel	(MBq) ~ 27 microcurie	(μCi)
1 kilobecquerel	(kBq) ~ 27 nanocurie	(nCi)
1 becquerel	(Bq) ~ 27 picocurie	(pCi)
1 curie	(Ci) ~ 37 gigabecquerel	(GBq)
1 millicurie	(mCi) ~ 37 megabecquerel	(MBq)
1 microcurie	~ 37 kilobecquerel	(KBq)
1 nanocurie	(nCi) ~ 37 becquerel	(Bq)
1 picocurie	(pCi) ~ 37 millibecquerel	(mBq)
1 gray	(Gy) = 100 rad	(rad)
1 milligray	(mGy) = 100 millirad	(mrad)
1 microgray	(μGy) = 100 microrad	(μrad)
1 nanogray	(nGy) = 100 nanorad	(nrad)
1 kilorad	(krad) = 10 gray	(Gy)
1 rad	(rad) = 10 milligray	(mGy)
1 millirad	(mrad) = 10 microgray	(μGy)
1 microrad	(μrad) = 10 nanogray	(nGy)
1 coulomb/kg	(C/kg) ~ 3876 roentgen	(R)
1 millicoulomb/kg	(mC/kg) ~ 3876 milliroentgen	(mR)
1 microcoulomb/kg	(μC/kg) ~ 3876 microroentgen	(μR)
1 nanocoulomb/kg	(nC/kg) ~ 3876 microroentgen	(μR)
1 kiloroentgen	(kR) ~ 258 millicoulomb/kg	(mC/kg)
1 roentgen	(R) ~ 258 microcoulomb/kg	(μC/kg)
1 milliroentgen	(mR) ~ 258 nanocoulomb/kg	(nC/kg)
1 microroentgen	(μR) ~ 258 picocoulomb/kg	(pC/kg)
1 sievert	(Sv) = 100 rem	(rem)
1 millisievert	(mSv) = 100 millirem	(mrem)
1 microsievert	(μSv) = 100 microrem	(μrem)
1 kilorem	(krem) = 10 sievert	(Sv)
1 rem	(rem) = 10 millisievert	(mSv)
1 millirem	(mrem) = 10 microsievert	(μSv)



RESOURCE CENTRE
INST. FOR ENVIRONTL. STUDIES
UNIVERSITY OF TORONTO

CAL HW 1179842
Canada, DNRW, EHD,
79-EHD-42
BIOASSAY PROGRAMS FOR RADIATION PROTECTION. 1

PROGRAMMES D'ESSAIS BIOLOGIQUES DANS LE DOMAINE
DE LA RADIOPROTECTION

Direction de l'hygiène du milieu
Direction générale de la protection de la santé

Publication autorisée par le
Ministre de la Santé nationale et du
Bien-être social

VOUS POUVEZ VOUS PROCURER
CE RAPPORT AUPRÈS DE LA:

Direction de l'information
Ministère de la Santé nationale
et du Bien-être social
5^e étage
Immeuble Brooke Claxton
Ottawa K1A 0K9

RÉSUMÉ

Le présent rapport traite des raisons fondamentales qui ont présidé à l'établissement des programmes d'essais biologiques comme moyen de protection pour les travailleurs oeuvrant dans le secteur de l'industrie nucléaire. On y trouvera une description du programme d'essais biologiques du Bureau de la radioprotection en vigueur au cours des années 1966-1978, ainsi que des projets de modifications pour l'avenir.

Le présent rapport a été préparé par M.P. Measures et R. Yarnell, sous la direction P.J. Waight.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
Introduction	1
Exposition aux rayonnements	1
Unités SI pour la mesure des rayonnements	2
Métabolisme des radionucléides	2
Programmes d'essais biologiques	3
Fondements mathématiques des programmes d'essais biologiques	4
Aspects pratiques de la surveillance au moyen d'essais biologiques	4
Programme d'essais biologiques du Bureau de la radioprotection: 1966-1978 ...	5
Comparaison interlaboratoire pour les essais biologiques	6
Exigences pour la normalisation des essais biologiques	7
Perspectives d'avenir concernant le rôle du Bureau de la radioprotection dans les essais biologiques	7
Bibliographie	8
Tableau 1. Facteurs de pondération (W_T) recommandés par la CIPR	9
Tableau 2. Nombre estimé de Canadiens exposés à la contamination interne, 1979	10
Tableau 3. Échantillons analysés systématiquement dans les essais biologiques: 1966-1978	11
Tableau 4. Programme d'essais biologiques du BRP, 1966-1978	12
Tableau 5. Résultats du programme d'essais biologiques du BRP, 1966-1978	13
Figure 1. Programme d'essais biologiques	14
Figure 2. Exposition externe	15
Figure 3. Exposition interne	16
Figure 4. Principales voies métaboliques des radionucléides dans l'organisme	17
Figure 5. Exigences minimales pour le programme d'essais biologiques systématiques (3)	18

	<u>Page</u>
Figure 6. Modes d'absorption	19
Annexe A Unités de mesure SI pour les rayonnements: facteurs de conversion	20

INTRODUCTION

Le terme "essai biologique" a plusieurs acceptions et est utilisé pour décrire une grande variété de techniques faisant appel à du matériel biologique. Dans le domaine de la radioprotection, le terme "essai biologique" désigne la méthodologie utilisée dans l'estimation de la contamination interne par la mesure des composés radioactifs dans les excréments et autres échantillons biologiques, ou par la mesure directe in vivo. Les résultats de ces mesures sont ensuite comparés à des lignes directrices préétablies pour déterminer s'il y a lieu d'enquêter ou d'intervenir (Fig. 1). Il faut noter que les niveaux d'investigation et d'action ne sont pas des objectifs que l'on cherche à atteindre, mais plutôt des objectifs qui devraient être maintenus "aussi faibles qu'il est raisonnablement possible de le faire" et que toute augmentation dans les niveaux de rayonnement devrait constituer une source de préoccupation.

Exposition aux rayonnements

L'être humain peut être exposé à des radionucléides d'origine interne ou externe (Fig. 2-3). Dans la série α , β , γ , la pénétration augmente dans cet ordre, tandis que l'ionisation et les lésions locales diminuent. À moins d'un contact direct avec la peau, les particules alpha d'origine externe ne sont pas normalement considérées comme un danger pour la santé, étant donné que leur rayon d'action, même dans l'air, est limité. Les particules bêta ont un rayon d'action plus grand mais ne pénètrent pas profondément dans l'organisme. Par conséquent, une dose externe de rayonnements β est habituellement classée comme une dose cutanée bien que les particules β soient également capables d'endommager le cristallin de l'oeil. Contrairement aux particules α et β , les rayons γ ne sont pas chargés. Les chances d'interaction avec la matière, entraînant une perte correspondante d'énergie, sont faibles et, par conséquent, leur rayon d'action est extrêmement grand. La dose de rayonnement provenant d'une source gamma est considérée comme une dose corporelle totale.

Les contaminants internes constituent un problème différent. Les particules alpha provoquent des lésions locales graves, tandis que les particules β et les rayons γ semblent être moins dangereux, selon l'énergie qu'ils transportent et la demi-vie biologique des isotopes. Certains isotopes, par exemple ^3H , sont répartis dans tout l'organisme tandis que d'autres se concentrent dans un ou plusieurs organes.

La Commission internationale de protection contre les radiations recommande maintenant que les calculs de la dose tiennent compte du risque total attribuable à n'importe quel type d'exposition et non seulement du risque pour l'organe ou le tissu dit critique (1). On peut y parvenir en appliquant des facteurs de pondération (Tableau 1) représentant la proportion du risque stochastique* provenant du risque lié aux tissus spécifiques par rapport au risque total lorsque le corps entier est irradié de façon uniforme. L'équivalent de dose fondé sur ces niveaux de risque moyens s'appelle "équivalent de dose efficace". En pratique, lorsqu'on estime les équivalents de dose dans le cas de l'apport de matières radioactives, il suffit de s'en tenir aux limites secondaires, les limites annuelles de l'apport (LAA) pour les radionucléides particuliers.

Unités SI pour la mesure des rayonnements

Le système international (SI) pour la mesure des rayonnements a été adopté au Canada. Les facteurs de conversion sont indiqués ci-dessous et présentés sous forme d'un tableau à l'annexe A.

1 Bq	~	27 pCi
1 Gy	=	100 rads
1 C/kg	~	3876 R
1 Sv	=	100 rems

Métabolisme des radionucléides

Il faut connaître le métabolisme d'un radionucléide pour pouvoir utiliser les résultats des essais biologiques dans l'estimation de l'équivalent de dose efficace. Étant donné que les facteurs métaboliques sont rarement connus pour une personne en particulier, les calculs sont fondés sur le métabolisme de l'Homme de référence (2), à moins que les niveaux soient suffisamment élevés pour justifier le calcul des données métaboliques d'un sujet particulier (3). Dans ce cas, le sujet doit être tenu à l'écart de toute contamination ultérieure.

Les principales voies métaboliques sont indiquées à la Fig. 4 (4). Les radionucléides pénètrent dans l'organisme par inhalation, ingestion, absorption cutanée ou par l'intermédiaire d'une blessure et sont éliminés dans l'air expiré, l'urine, les matières fécales ou la sueur. Ils sont étiquetés comme transférables

* Le risque où la probabilité de la survenue d'un effet, et non sa gravité, est considérée comme une fonction de la dose.

ou non transférables selon la vitesse avec laquelle ils sont transportés à travers les membranes cellulaires de l'intestin, l'épithélium pulmonaire et la couche externe de l'épiderme. Il faut noter que le caractère de transférabilité est très varié selon les propriétés physiques et chimiques des composés en question et qu'il n'est pas possible de cataloguer ces composés de façon nette comme étant transférables ou non. Les contaminants du poumon ont été délimités comme suit:

Composés de la classe D, élimination rapide (jours)

Composés de la classe W, élimination intermédiaire (semaines)

Composés de la classe Y, élimination lente (années)

Programmes d'essais biologiques

Les programmes d'essais biologiques usuels visent à déceler l'apport en composés radioactifs et à estimer l'équivalent de dose efficace engagée résultante pour les travailleurs exposés aux rayonnements. De plus, des analyses spéciales peuvent être nécessaires comme mesure de post-observation dans le cas des expositions accidentelles ou anormalement élevées. La nécessité d'un programme d'essais biologiques est évaluée en fonction de l'activité totale et des propriétés physiques et chimiques du ou des radionucléide(s) manipulés, des méthodes d'isolement, des résultats de la surveillance du milieu, etc. Le type de programme dépend des propriétés métaboliques et radiométriques du ou des radionucléide(s) à l'étude.

Dans les essais biologiques, la mesure appropriée pour n'importe quel radionucléide comprend l'analyse chimique ou radiochimique d'un échantillon biologique provenant de la personne exposée ou une mesure direct in vivo. Les résultats de l'analyse sont comparés au niveau d'investigation dérivé (NID) pour le radionucléide particulier, le NID étant défini comme la quantité de radioactivité qui indique que l'équivalent de dose ou l'apport sont suffisants pour justifier une enquête.

Lorsque le NID est dépassé, une enquête doit être entreprise pour vérifier si un apport important a effectivement eu lieu, pour voir si d'autres sujets ont été exposés, pour identifier la cause et appliquer les mesures correctives (Fig. 5) (3). Lorsque le niveau d'action est dépassé, c'est-à-dire lorsque l'équivalent de dose est égal ou supérieur à 50 mSv, le sujet doit être mis à l'abri de toute exposition ultérieure en attendant la tenue de l'enquête.

Fondements mathématiques des programmes d'essais biologiques

Les quatre principaux types d'absorption et les types correspondants de charge dans le corps ou l'organe sont illustrés à la Fig. 6. La charge du corps ou de l'organe change avec le temps et peut être exprimée par l'équation suivante (5):

$$q(t) = \int_0^t l(\zeta) \cdot r_s(t-\zeta) d\zeta$$

où $q(t)$ = charge du corps ou de l'organe

$l(\zeta)$ = absorption ou déposition en fonction du temps

$r_s(t-\zeta)$ = rétention en fonction du temps

ζ = un temps variable intégré de 0 à t

La valeur pour la rétention varie d'un sujet à l'autre et est fondée sur l'Homme de référence pour le calcul de la limite annuelle de l'apport. La Concentration dans l'air dérivée (CAD), à savoir la concentration du radionucléide dans l'air qui, si elle était respirée par l'Homme de référence pour une année de travail de 5000 heures, donnerait une LAA par inhalation, peut également être calculée pour les isotopes particuliers. La Commission internationale de protection contre les radiations travaille actuellement à établir une liste des valeurs pour les LAA, CAD et NID qui devrait être publiée prochainement (6).

Aspects pratiques de la surveillance au moyen d'essais biologiques

Les programmes d'essais biologiques peuvent être nécessaires dans les situations où il y a possibilité que l'apport annuel en matières radioactives dépasse 0.1 LAA (3) ou qu'un apport important ait lieu. S'il peut être démontré, par des résultats de la surveillance de l'air ou les résultats de l'exposition externe, etc, qu'un tel apport est peu probable, un programme systématique peut alors ne pas être nécessaire. Si les essais biologiques ne sont pas une condition imposée par la Commission de contrôle de l'énergie atomique, il faut qu'un spécialiste expérimenté en radioprotection détermine si un tel programme est nécessaire ou souhaitable.

Les essais biologiques systématiques doivent être réalisés avec une fréquence suffisante pour s'assurer que tout apport important de matière radioactive sera détecté. Par conséquent, la fréquence varie en fonction de la demi-vie effective du radionucléide en question et de la sensibilité des méthodes analytiques. Par exemple, l'intervalle entre les mesures sera nécessairement plus court pour les radionucléides excrétés rapidement du corps, comme le ^3H , que dans le cas des radionucléides séjournant plus longtemps dans l'organisme comme le ^{226}Ra . Cependant, les méthodes analytiques pour cet isotope doivent être très sensibles étant

donné que les rapports excrétion: apport sont faibles. L'utilisation des techniques in vivo est limitée à la mesure des radionucléides émettant des rayons γ et, dans plusieurs cas, cette méthode n'est pas assez sensible pour mesurer des charges corporelles importantes.

Programme d'essais biologiques du Bureau de la radioprotection: 1966-1978

Le Bureau de la radioprotection (BRP) a créé son programme d'essais biologiques en 1966 pour évaluer les dangers pour la santé liés à l'apport provenant des composés radioactifs auxquels étaient exposés les travailleurs canadiens oeuvrant dans le domaine de l'énergie atomique. Ce programme a été mis en vigueur pour compléter le service de surveillance dosimétrique existant qui assurait une surveillance systématique des sujets exposés dans leur travail à des sources externes de matières radioactives. Par conséquent, le besoin immédiat consistait à mesurer l'exposition aux rayonnements due à l'ingestion, à l'inhalation ou à l'absorption de radionucléides, en mettant particulièrement l'accent sur les produits émetteurs de particules alpha ou de particules bêta de faible énergie (7).

Selon des données récentes (8), environ 21 000 Canadiens sont exposés dans leur travail à un apport en radionucléides (Tableau 2). Ces travailleurs manipulent des sources non scellées dans l'exercice de leurs fonctions ou sont employés dans une industrie où des radionucléides naturels sont traités, utilisés ou présents sous forme de contaminants. Approximativement 30 pour cent des travailleurs appartenant au groupe à risque élevé sont inscrits à un programme d'essais biologiques fédéral, provincial ou "maison". La Commission de contrôle de l'énergie atomique exige la participation obligatoire à des programmes approuvés dans le cas de certains employés particuliers des centrales nucléaires, de l'industrie de l'uranium et des peintres de cadran. Pour les autres Canadiens exposés, les essais biologiques sont généralement volontaires et à la discrétion de l'employeur, même si souvent la question est supervisée par le Bureau de la radioprotection.

Entre 1966 et 1978, la participation au programme du Bureau de la radioprotection était principalement limitée aux travailleurs exposés aux substances émettant des particules β de faible énergie comme le ^3H et le ^{14}C et aux radionucléides naturels comme le radium, le thorium et l'uranium. Parmi les abonnés figuraient des chercheurs, des peintres de cadran, des employés à la transformation de l'uranium, des travailleurs s'occupant de la fabrication du combustible et des employés de diverses petites industries manipulant des composés du thorium. La demi-vie effective de ces isotopes et les niveaux d'investigation dérivés du Bureau

de la radioprotection sont indiqués au Tableau 3. Parmi les analyses non usuelles figurait la mesure de l'activité globale α , β , γ , ^{32}P , ^{203}Hg ou Pu . Par exemple, des analyses ont été réalisées auprès de certains membres du personnel ayant participé à l'opération de nettoyage qui a suivi l'écrasement du satellite Cosmos.

Au cours de la période de 13 années, 15 294 échantillons provenant de 1419 sujets appartenant à 44 organismes ont été présentés et analysés (Tableau 4). Comme l'indique le Tableau 5, 15 pour cent des échantillons contenaient une activité supérieure au niveau d'investigation dérivé du Bureau de la radioprotection et, par conséquent, démontraient qu'un apport important de radioactivité avait eu lieu. Les mesures d'action prises à la suite des résultats des essais biologiques ont varié depuis la notification de l'organisme abonné de la nécessité d'une enquête interne jusqu'à la fermeture temporaire de certaines usines. De plus, certains employés ont été mis à l'écart de certains postes pour empêcher toute exposition ultérieure tandis que d'autres ont été forcés d'améliorer leurs habitudes de travail. Les visites réalisées par le personnel du Bureau de la radioprotection servant d'inspecteur de la Commission de contrôle de l'énergie atomique, ont permis de réaliser plusieurs opérations de nettoyage et d'introduire plusieurs mesures de prévention.

Comparaison interlaboratoire pour les essais biologiques

L'assurance de la qualité pour les essais biologiques a généralement été limitée aux programmes internes. Même si l'Agence internationale de l'énergie atomique organise des contre-vérifications occasionnelles, aucun programme de comparaison systématique n'existe à l'échelle nationale ou internationale.

Un programme de contre-vérification dans le cas du tritium dans l'urine est en vigueur depuis 1970; y participent le Bureau de la radioprotection et plusieurs laboratoires externes. Les prélèvements sont divisés et analysés à la fois par le laboratoire externe et les laboratoires du Bureau de la radioprotection et, par la suite, les résultats sont comparés. Des projets visant à mettre sur pied un système de comparaison interlaboratoire plus formel font l'objet de discussions.

À titre d'essai, un programme de comparaison interlaboratoire a été introduit en 1977 pour déceler l'uranium dans l'urine en utilisant à la fois des échantillons réels et des échantillons "dopés". La nécessité d'un tel programme a été indiquée par les difficultés liées à la fidélité et à la justesse de la méthode d'analyse fluorométrique. Les résultats ont confirmé ce besoin et le programme de 1978 a été

étendu à 10 laboratoires. Ce programme est maintenant offert de façon volontaire à tous les laboratoires qui doivent, de façon systématique, analyser l'urine pour détecter l'uranium.

Exigences pour la normalisation des essais biologiques

Étant donné que la plupart des programmes d'essais biologiques canadiens ont été mis au point indépendamment l'un de l'autre, il existe une grande variation dans leur organisation en ce qui a trait à la méthodologie, à la fréquence, à l'interprétation des résultats et aux mesures d'action subséquentes. Pour assurer une protection appropriée à tous les travailleurs canadiens, le Bureau de la radioprotection a mis sur pied un groupe d'experts, en s'appuyant sur la structure du Comité fédéral-provincial, pour rédiger une série de lignes directrices indiquant en détail les critères pour les essais biologiques. Le premier de ces documents (3) est actuellement disponible sous forme de version destinée à recevoir les commentaires, et des versions préliminaires sont en voie de préparation dans le cas des essais biologiques pour le tritium et l'uranium.

Perspectives d'avenir concernant le rôle du Bureau de la radioprotection dans les essais biologiques

Le Bureau de la radioprotection est en train de mettre fin à son programme systématique d'analyse. Il adoptera un rôle plus consultatif en fournissant à la Commission de contrôle de l'énergie atomique, à l'industrie, aux universités, etc., des conseils sur l'organisation des programmes d'essais biologiques, la méthodologie actuelle et l'interprétation des résultats. Au même moment, les programmes visant l'assurance de la qualité et la normalisation des exigences pour les essais biologiques seront étendus. Le Bureau continuera à analyser des échantillons dans les cas d'urgence ou lorsqu'il est nécessaire d'évaluer une situation inhabituelle ou nouvelle. La recherche concernant les programmes susmentionnés se poursuivra et un programme de vérification sera mis en place pour les industries à risque élevé.

BIBLIOGRAPHIE

1. CIPR, Publication 26, 1977. Annales de la CIPR, vol 1, n° 3. Recommandations de la Commission internationale de protection contre les radiations (telles que modifiées lors de la réunion de Stockholm de la CIPR en 1978). Pergamon Press, Oxford.
2. CIPR, Publication 23, 1975. Rapport du Groupe de travail sur l'Homme de référence, 480 pages. Pergamon Press, Oxford.
3. Critères généraux pour les programmes d'essais biologiques, 1979. RPB-GL-1, disponible pour les commentaires.
4. CIPR, Publication 10, 1968. Evaluation of Radiation Doses to Body Tissues from Internal Contamination due to Occupational Exposure.
5. CIPR, Publication 10A, 1971. The Assessment of Internal Contamination Resulting from Recurrent or Prolonged Uptakes.
6. CIPR, 10X, À paraître. Report of Committee 4 on Monitoring for Internal Contamination.
7. Bird, P.M. 1969. Body Burden Assay Services of the Radiation Protection Division. Rapport interne, IR-11.
8. Ashmore, P. 1979. Communication personnelle.

Tableau 1

Facteurs de pondération (W_T) recommandés par la CIPR

Tissus	W_T
Gonades	0.25
Sein	0.15
Moelle osseuse rouge	0.12
Poumon	0.12
Thyroïde	0.03
Surfaces osseuses	0.03
Autres tissus	0.30

Tableau 2

Nombre estimé de Canadiens exposés à la contamination interne, 1979.

Occupation	Nombre
Peintres de cadran	10
Personnel hospitalier	7 000
Instructeurs et étudiants	600
Personnel d'entretien ménager	50
Techniciens de laboratoire et chercheurs scientifiques	3 500
Travailleurs dans le domaine des réacteurs	6 000
Agents de sécurité	50
Travailleurs dans le domaine de l'uranium	3 500
TOTAL	20 710

Tableau 3

Échantillons analysés systématiquement dans les essais biologiques: 1966-1978

Radionucléide	Échantillon	Demi-vie effective	Niveau d'investigation dérivé
^3H	urine	10 d	37 kBq/l
^{14}C (sous forme de $^{14}\text{CO}_2$)	urine	0.4 d	185 Bq/l
	haleine		185 Bq/m mole CO_2
^{226}Ra	urine	1.6×10^4 d	100 mBq/l
Th_{nat}	urine	7.3×10^4 d	2 $\mu\text{g/l}$
U_{nat} (transportable)	urine	15 d	20 $\mu\text{g/l}$
U_{nat} (non transportable)	urine	(1.2 à >6.0) $\times 10^2$ d	20 $\mu\text{g/l}$

Tableau 4

Programme d'essais biologiques du BRP, 1966-1978

Année	Nombre de sociétés ou d'organismes	^3H	^{14}C haleine	^{14}C urine	^{226}Ra	Nombre Th	d'analyses U	Autres	Total
1966	2	6	--	--	--	--	10	--	16
1967	16	150	37	36	36	59	109	--	427
1968	24	141	59	62	24	89	820	8	1 203
1969	18	130	76	74	19	61	915	3	1 278
1970	15	133	64	66	23	47	698	9	1 040
1971	17	123	57	60	15	65	802	1	1 123
1972	15	140	70	77	31	78	745	5	1 146
1973	14	259	151	192	17	123	1 178	--	1 920
1974	11	220	138	172	11	62	731	2	1 336
1975	11	182	127	139	13	60	695	--	1 216
1976	13	214	107	128	13	45	357	2	866
1977	10	194	68	81	35	33	1 247	--	1 658
1978	11	277	94	108	17	57	1 455	57	2 065
Total	44	2 169	1 048	1 195	254	779	9 762	87	15 294

Tableau 5

Résultats du programme d'essais biologiques du BRP, 1966-1978

Isotope	Nombre d'analyses	Nombre de résultats non décelables	Nombre de résultats supérieurs au niveau d'investigation dérivé
^3H	2 169	1 420	108
^{14}C (haleine)	1 048	1 019	6
^{14}C (urine)	1 195	1 164	14
^{226}Ra	254	205	3
Th_{nat}	779	610	169
U_{nat}	9 762	2 547	1 856
Total	15 207	6 695	2 156

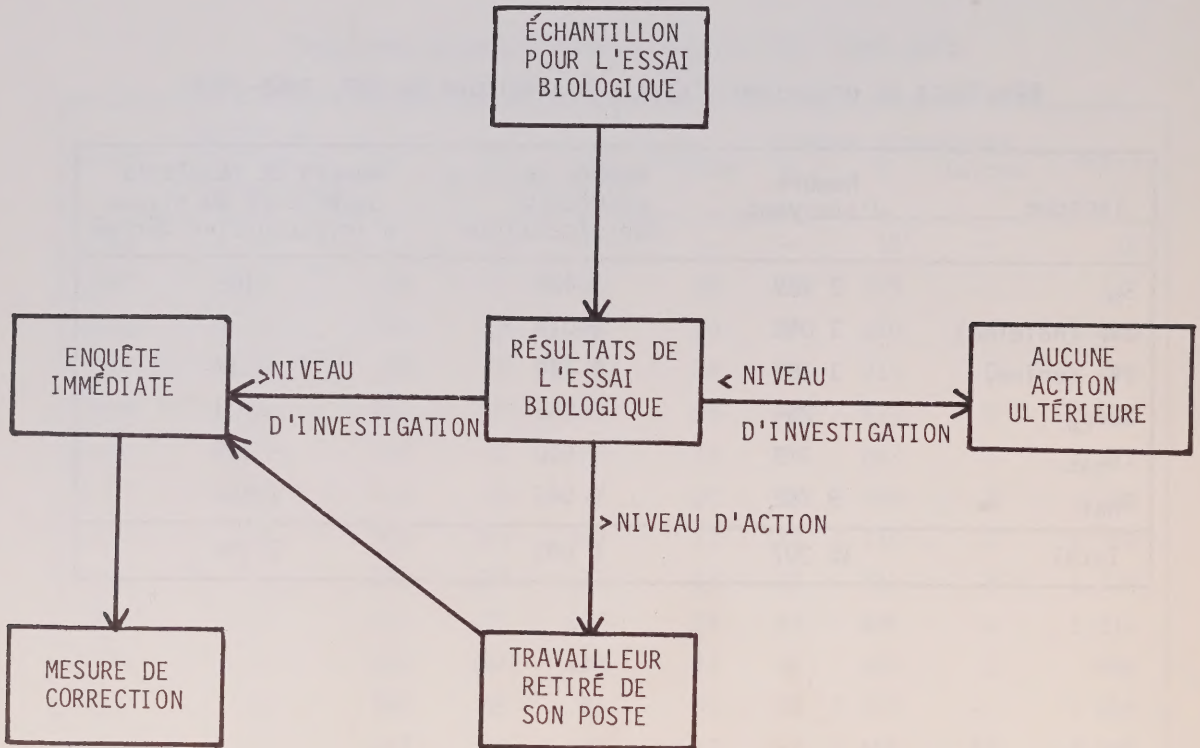


FIG. 1. PROGRAMME D'ESSAIS BIOLOGIQUES

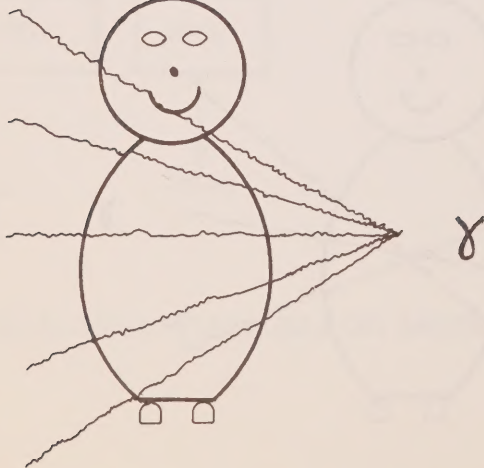
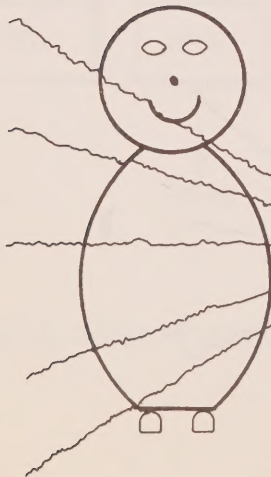
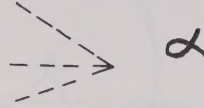
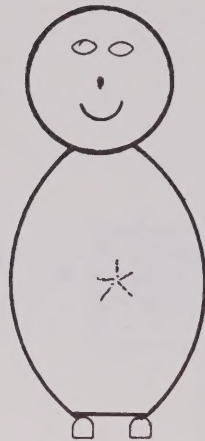


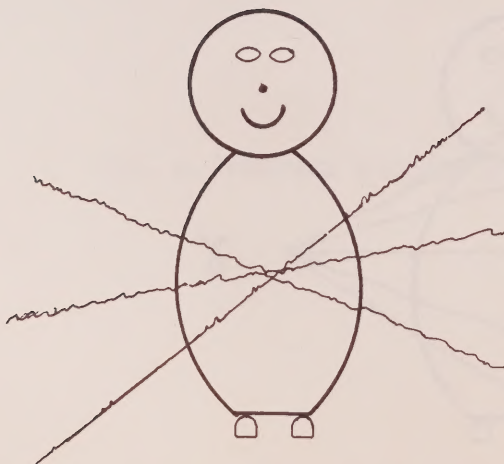
FIG. 2. EXPOSITION EXTERNE



α



β



γ

FIG. 3. EXPOSITION INTERNE

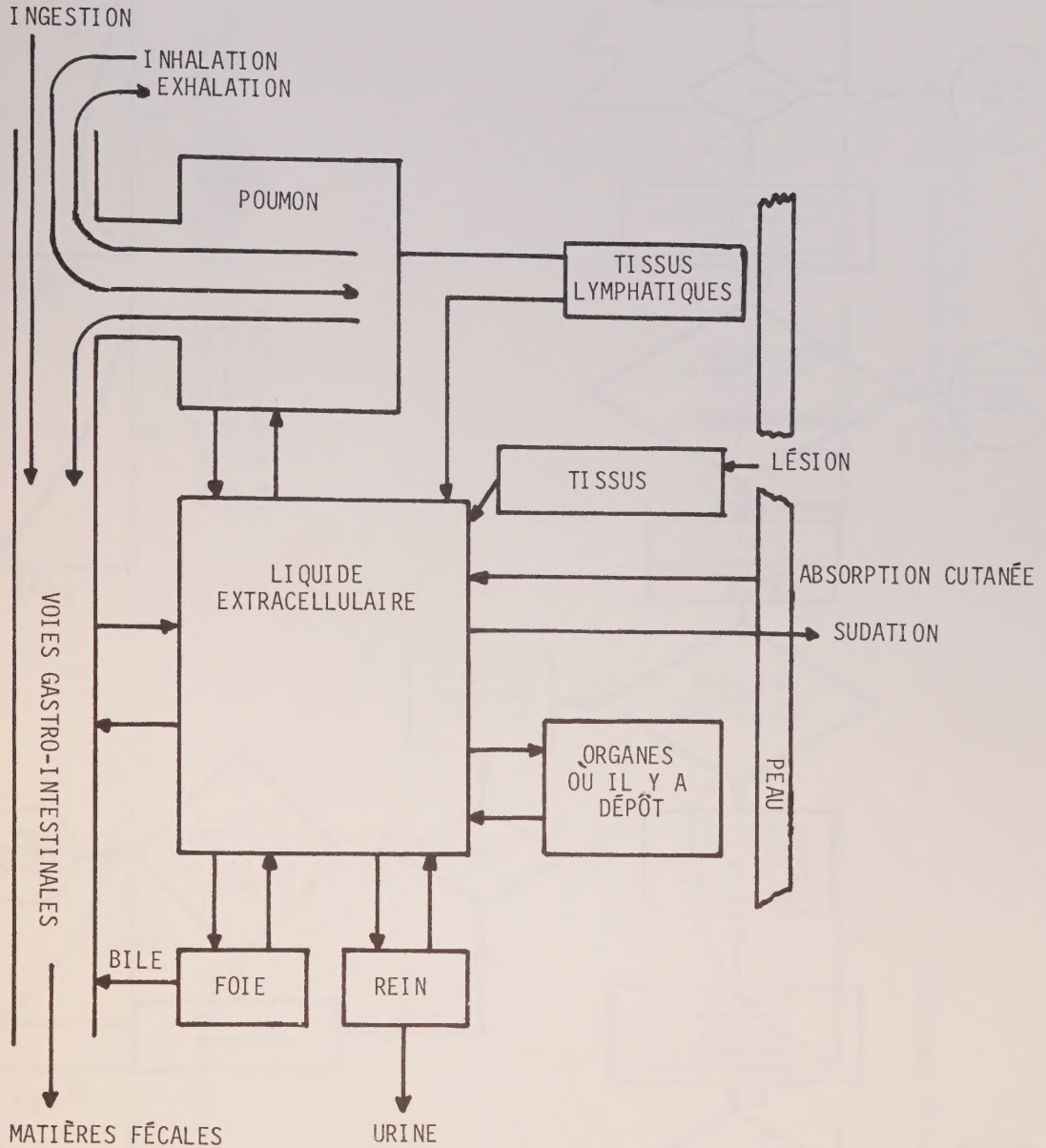


FIG. 4. PRINCIPALES VOIES MÉTABOLIQUES DES RADIONUCLÉIDES DANS L'ORGANISME

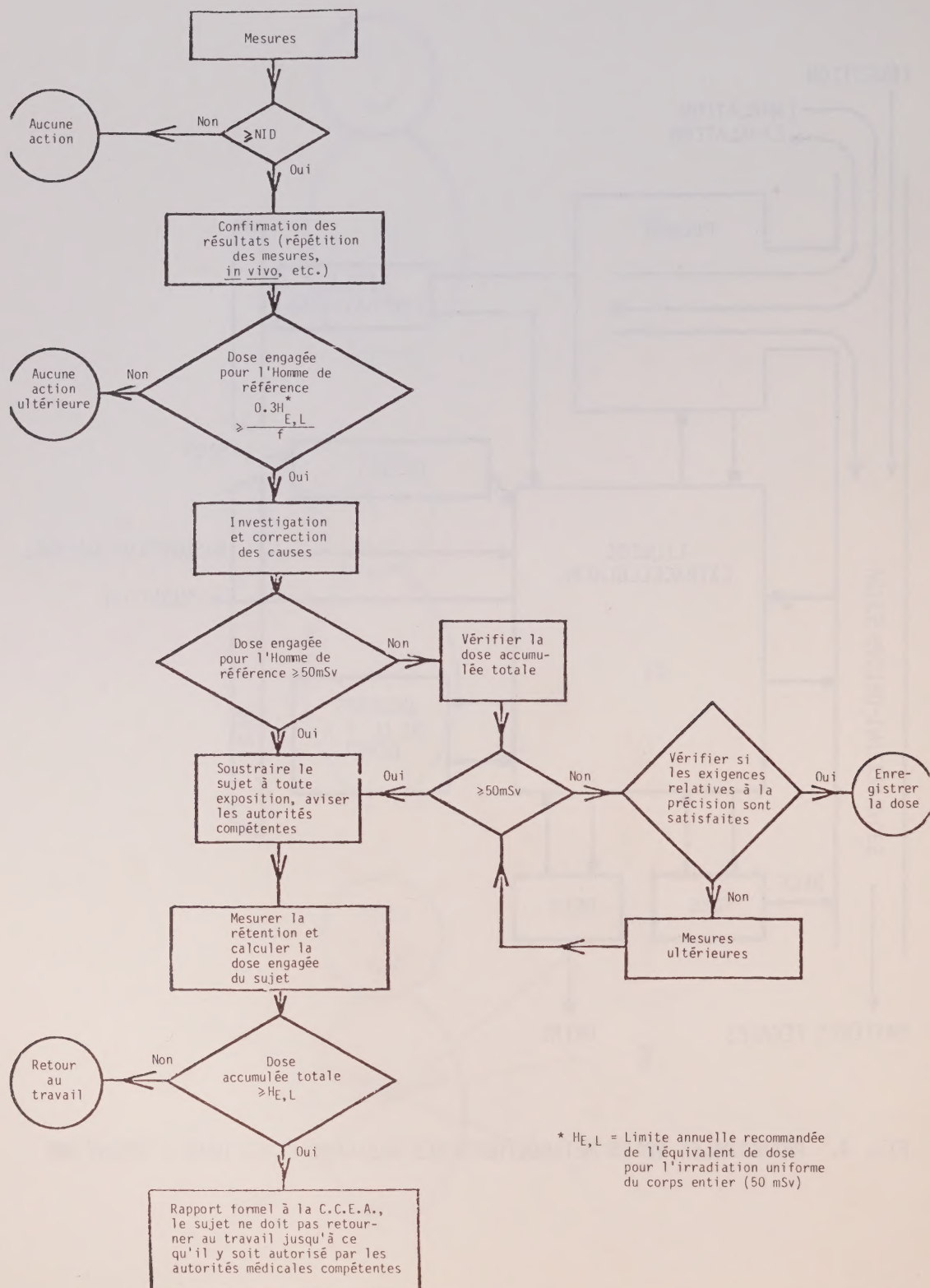
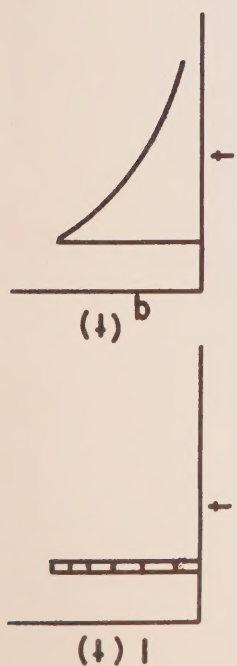
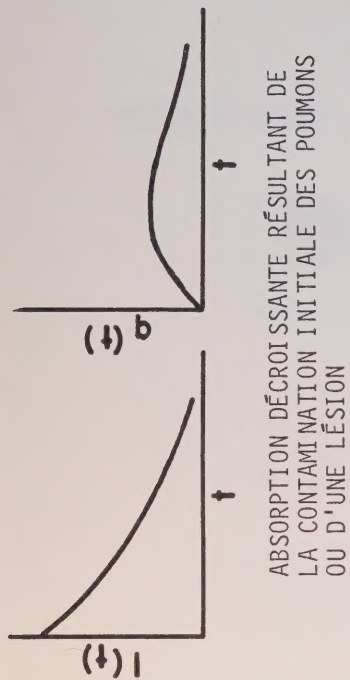


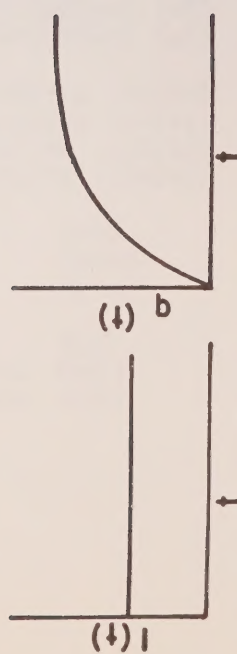
FIGURE 5. EXIGENCES MINIMALES POUR LE PROGRAMME D'ESSAIS BIOLOGIQUES SYSTÉMATIQUES (3)



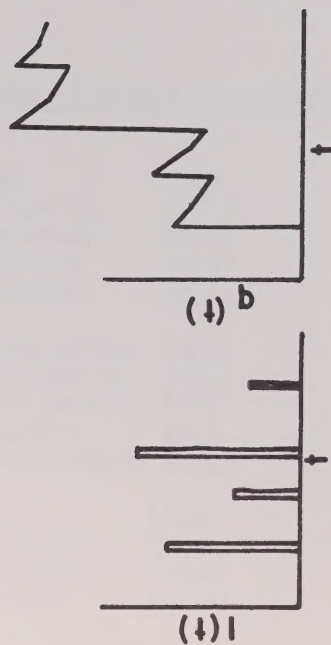
ABSORPTION UNIQUE



ABSORPTION DÉCROISSANTE RÉSULTANT DE LA CONTAMINATION INITIALE DES POUMONS OU D'UNE LÉSION



ABSORPTION CHRONIQUE



PLUSIEURS ABSORPTIONS AU COURS D'UN LAPSE DE TEMPS LIMITÉ

FIG. 6. MODES D'ABSORPTION

Unités de mesure SI pour les rayonnements: facteurs de conversion

1 terabecquerel	(TBq)	~ 27	curies	(Ci)
1 gigabecquerel	(GBq)	~ 27	millicuries	(mCi)
1 megabecquerel	(MBq)	~ 27	microcuries	(μCi)
1 kilobecquerel	(kBq)	~ 27	nanocuries	(nCi)
1 becquerel	(Bq)	~ 27	picocuries	(pCi)
1 curie	(Ci)	~ 37	gigabecquerels	(GBq)
1 millicurie	(mCi)	~ 37	megabecquerels	(MBq)
1 microcurie		~ 37	kilobecquerels	(kBq)
1 nanocurie	(nCi)	~ 37	becquerels	(Bq)
1 picocurie	(pCi)	~ 37	millibecquerels	(mBq)
1 gray	(Gy)	= 100	rads	(rad)
1 milligray	(mGy)	= 100	millirads	(mrad)
1 microgray	(μGy)	= 100	microrads	(μrad)
1 nanogray	(nGy)	= 100	nanorads	(nrad)
1 kilorad	(krad)	= 10	grays	(Gy)
1 rad	(rad)	= 10	milligrays	(mGy)
1 millrad	(mrad)	= 10	micrograys	(μGy)
1 microrad	(μrad)	= 10	nanograys	(nGy)
1 coulomb/kg	(C/kg)	~ 3876	roentgens	(R)
1 millicoulomb/kg	(mC/kg)	~ 3876	milliroentgens	(mR)
1 microcoulomb/kg	(μC/kg)	~ 3876	microroentgens	(μR)
1 nanocoulomb/kg	(nC/kg)	~ 3876	nanoroentgens	(nR)
1 kiloroentgen	(kR)	~ 258	millicoulombs/kg	(mC/kg)
1 roentgen	(R)	~ 258	microcoulombs/kg	(μC/kg)
1 milliroentgen	(mR)	~ 258	nanocoulombs/kg	(nC/kg)
1 microroentgen	(μR)	~ 258	picocoulombs/kg	(pC/kg)
1 sievert	(Sv)	= 100	rems	(rem)
1 millisievert	(mSv)	= 100	millirems	(mrem)
1 microsievert	(μSv)	= 100	microrems	(μrem)
1 kilorem	(krem)	= 10	sieverts	(Sv)
1 rem	(rem)	= 10	millisieverts	(mSv)
1 millirem	(mrem)	= 10	microsieverts	(μSv)

79-EHD-42

programmes d'essais biologiques dans le domaine de la radioprotection

